(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 4 062 436 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
14.06.2023 Bulletin 2023/24

(21) Numéro de dépôt: **20820489.1**

(22) Date de dépôt: **19.11.2020**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H01F 30/12 *(2006.01)*

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H01F 30/12

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2020/052129

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2021/099743 (27.05.2021 Gazette 2021/21)

(54) **TRANSFORMATEUR ROTATIF ET MACHINE TOURNANTE COMPORTANT UN TEL TRANSFORMATEUR ROTATIF**

DREHTRANSFORMATOR UND DREHMASCHINE MIT EINEM SOLCHEN DREHTRANSFORMATOR

ROTARY TRANSFORMER AND ROTATING MACHINE COMPRISING SUCH A ROTARY TRANSFORMER

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **20.11.2019 FR 1912975**

(43) Date de publication de la demande:
28.09.2022 Bulletin 2022/39

(73) Titulaires:
- **SAFRAN AIRCRAFT ENGINES**
  75015 Paris (FR)
- **Safran Electrical & Power**
  31702 Blagnac Cedex (FR)

(72) Inventeurs:
- **DUVAL, Cédric Arnaud Henri**
  77550 Moissy-Cramayel (FR)
- **BELFKIRA, Rachid**
  77550 Moissy-Cramayel (FR)

(74) Mandataire: **Brevalex**
Tour Trinity
1 Bis Esplanade de La Défense
CS 60347
92035 Paris La Défense Cedex (FR)

(56) Documents cités:
WO-A1-2009/128724 **WO-A1-2013/167828**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 4 062 436 B1

Description

Domaine technique

[0001] L'invention concerne le domaine des transformateurs rotatifs et les machines tournantes comportant un tel transformateur.

[0002] Ainsi, l'invention a plus particulièrement pour objet un transformateur rotatif compact optimisé et une machine tournante comportant un tel transformateur rotatif.

État de l'art antérieur

[0003] Un transformateur rotatif 2 est un transformateur permettant de transférer de l'énergie électrique entre deux pièces rotatives 4, 5 l'une par rapport à l'autre, tel qu'entre une partie de stator 5 et une partie de rotor 4 d'une machine rotative 1. Ce type de transformateur, dans le cadre d'un transformateur rotatif triphasé 2 et d'une configuration classique, comprend :

- au moins une première, une deuxième et une troisième bobine primaire 11, 12, 13,
- une première, une deuxième et une troisième bobine secondaire 21, 22, 23 correspondant respectivement aux première, deuxième et troisième bobines primaires 11, 12, 13,
- un corps primaire 30 en matériau ferromagnétique et de révolution autour d'un axe de révolution 3, et
- un corps secondaire 40 en matériau ferromagnétique et de révolution, le corps secondaire 40 étant concentrique avec le corps primaire 30 de telle manière à ce que l'un parmi le corps primaire 30 et le corps secondaire 40 soit libre en rotation autour de l'autre parmi le corps primaire 30 et le corps secondaire 40 en tournant autour de l'axe de révolution 2.

[0004] Le corps primaire 30 comporte une première, une deuxième et une troisième encoche 31, 32, 33 débouchant en regard du corps secondaire 40 et dans lesquelles sont respectivement agencées la première, la deuxième et la troisième bobine primaire 11, 12, 13.

[0005] Le corps secondaire 40 comporte une première, une deuxième et une troisième encoche secondaire 41, 42, 43 débouchant en regard de respectivement la première, la deuxième et la troisième bobine primaire 11, 12, 13. La première, la deuxième et la troisième bobine secondaire 21, 22, 23 sont respectivement agencées dans la première, la deuxième et la troisième encoche secondaire 41, 42, 43.

[0006] De cette manière, il est possible de transférer le courant de chacune des phases du primaire individuellement d'une bobine primaire vers la bobine secondaire correspondante et ainsi transférer une puissance électrique vers la partie 4 de la machine rotative équipée des bobines secondaires 21, 22, 23 à partir de la partie 5 équipée des bobines primaires 11, 12, 13. Néanmoins, un tel transformateur rotatif 2 présente l'inconvénient de généralement comporter une masse et un volume particulièrement importants.

[0007] Ainsi, afin de limiter le volume et la masse d'un tel transformateur 102, il a été proposé par le document WO 2013167827, comme le montre sa figure 3, de :

- diviser chacune des première, deuxième et troisième bobines primaires et secondaires en une première et une deuxième sous-bobine,
- d'associer une sous-bobine de chacune de la deuxième et de la troisième bobine primaire avec respectivement la première et la deuxième sous-bobine de la première bobine primaire, ceci dans une encoche commune du corps primaire, l'autre sous-bobine de chacune de la deuxième et de la troisième bobine primaire étant logée dans une encoche qui lui est propre,
- d'associer une sous-bobine de chacune de la deuxième et de la troisième bobine secondaire avec respectivement la première et la deuxième sous-bobine de la première bobine secondaire, ceci dans une encoche commune du corps primaire, l'autre sous-bobine de chacune de la deuxième et de la troisième bobine secondaire étant logée dans une encoche qui lui est propre.

[0008] Avec une telle configuration, avec un sens d'enroulement adapté de chacune des sous-bobines, il est possible d'obtenir un couplage des flux optimisé qui permet de réduire le dimensionnement du transformateur en termes de volume et de masse.

[0009] On peut noter que c'est cette même approche qui est divulguée par le document WO 2013/167829 dans une configuration triphasé vers biphasé.

[0010] Afin d'optimiser la configuration divulguée par le document WO 2013/167827, le document WO 2013/167828 propose, comme illustré sur les figures 2 et 3, d'optimiser le couplage de flux en associant la deuxième bobine secondaire 112, sous la forme d'une première sous-bobine secondaire 112A et d'une deuxième sous-bobine primaire 112B, à chacune de la première bobine primaire 111 et de la troisième bobine primaire 113 et en appliquant une configuration similaire aux bobines secondaires 121, 122, 123.

[0011] Dans une telle configuration, la première sous-bobine primaire 112A et la première bobine primaire 111 sont logées dans une première encoche 131 du corps primaire 130 et la deuxième sous-bobine primaire 112B et la troisième bobine primaire 113 sont logées dans une deuxième encoche 132 du corps primaire 130. Le corps secondaire 140 présente une conformation similaire avec la première sous-bobine secondaire 122A et la première bobine secondaire 121 qui sont ainsi logées dans une première encoche 141 du corps secondaire 140 et la deuxième sous-bobine secondaire 122B et la troisième bobine secondaire 123 qui sont logées dans une deuxième encoche 142 du corps secondaire 140.

[0012] On notera que dans une telle configuration, afin d'équilibrer le facteur de transformation de chacune des phases, chacune de la première sous-bobine 112A et de la deuxième sous-bobine 112B présente nécessairement le même nombre de spires que la première bobine primaire 111 et que la troisième bobine primaire 113. Ainsi, pour que chacune des première, deuxième et troisième bobines primaires 111, 112, 113 présente une même résistance, les première et deuxième sous-bobines 112A, 112B présentent une épaisseur 2h double de l'épaisseur h des première et troisième bobines primaires 111, 113, ceci pour une dimension axiale L identique entre les première et deuxième sous-bobines primaires 112A, 112B et les première et troisième bobines primaires 111, 113.

[0013] Bien entendu, la configuration étant similaire pour les bobines secondaires 121, 122, 123, ce dimensionnement des sous-bobines primaires 112A, 112B/bobines primaires 111, 113 est également valable pour ces dernières.

[0014] De cette différence d'épaisseur, également présente pour les bobines secondaires 121, 122, 123 qui partageant une configuration similaire, il résulte des flux magnétiques de fuite importants et déséquilibrés entre les bobines/sous-bobines. Ce déséquilibre de flux de fuite des bobines/sous-bobines conduit à un déséquilibre électrique des phases, généralement supérieur à 5%, ce qui réduit l'intérêt de la configuration proposée par le document WO 2013/167828.

Exposé de l'invention

[0015] L'invention a pour objet de résoudre l'inconvénient ci-dessus et a ainsi pour but de fournir un transformateur rotatif triphasé qui soit optimisé et qui puisse être équilibré électriquement tout en conservant les dimensions réduites offertes par les transformateurs rotatifs triphasés de l'art antérieur.

[0016] L'invention concerne à cet effet un transformateur rotatif triphasé comprenant :

- au moins une première, une deuxième et une troisième bobine primaire,
- une première, une deuxième et une troisième bobine secondaire correspondant respectivement aux première, deuxième et troisième bobines primaires,
- un corps primaire en matériau ferromagnétique et de révolution autour d'un axe de révolution, et
- un corps secondaire en matériau ferromagnétique et de révolution, le corps secondaire étant concentrique avec le corps primaire de telle manière à ce que l'un parmi le corps primaire et le corps secondaire soit libre en rotation autour de l'autre parmi le corps primaire et le corps secondaire en tournant autour de l'axe de révolution,

  la deuxième bobine primaire comprenant au moins une première et une deuxième sous-bobine primaire et la deuxième bobine secondaire comprenant au moins une première et une deuxième sous-bobine secondaire,

  dans lequel le corps primaire comporte une première encoche primaire et une deuxième encoche primaire présentant chacune une ouverture débouchant en regard du corps secondaire et le corps secondaire comporte une première encoche secondaire et une deuxième encoche secondaire présentant chacune une ouverture débouchant en regard respectivement de la première encoche primaire et de la deuxième encoche primaire,

  dans lequel la première et la deuxième encoche primaire comprennent chacune un premier logement annulaire et un deuxième logement annulaire se succédant radialement à partir de l'ouverture de ladite encoche primaire,

  la première et la deuxième encoche secondaire comprenant chacune un premier logement annulaire et un deuxième logement annulaire se succédant radialement à partir de l'ouverture de ladite encoche secondaire,

  la première encoche primaire logeant la première sous-bobine primaire et la première bobine primaire, la première sous-bobine primaire étant agencée dans l'un parmi le premier et le deuxième logement de la première encoche primaire, la première bobine primaire étant agencée dans l'autre parmi le premier et le deuxième logement de la première encoche primaire,

  la deuxième encoche primaire logeant la deuxième sous-bobine primaire et la troisième bobine primaire, la deuxième sous-bobine primaire étant agencée dans l'un parmi le premier et le deuxième logement de la deuxième encoche primaire, la troisième bobine primaire étant agencée dans l'autre parmi le premier et le deuxième logement de la deuxième encoche primaire,

  la première encoche secondaire logeant la première sous-bobines secondaire et la première bobine secondaire, la première sous-bobine secondaire étant agencée dans l'un parmi le premier et le deuxième logement de la première encoche secondaire, la première bobine secondaire étant agencée dans l'autre parmi le premier et le deuxième logement de la première encoche secondaire,

  la deuxième encoche secondaire logeant la deuxième sous-bobine secondaire et la troisième bobine secondaire, la deuxième sous-bobine secondaire étant agencée dans l'un parmi le premier et le deuxième logement de la deuxième encoche secondaire, la troisième bobine secondaire étant agencée dans l'autre parmi le premier et le deuxième logement de la deuxième encoche secondaire,

  dans lequel pour la première encoche primaire et la deuxième encoche primaire, le logement parmi le premier et le deuxième logement qui logent une sous-bobine primaire présente une dimension axiale

supérieure à l'autre logement parmi le premier et le deuxième logement, et
dans lequel pour la première encoche primaire et la deuxième encoche primaire, le logement parmi le premier et le deuxième logement qui loge une sous-bobine secondaire présente une dimension axiale supérieure à l'autre logement parmi le premier et le deuxième logement.

[0017] Avec une telle conformation du transformateur rotatif triphasé, il est possible d'adapter la configuration des première et deuxième sous-bobines primaires et des première et troisième bobines primaires afin d'équilibrer les flux magnétiques de fuite et ainsi optimiser le rapport de transformation entre les différentes phases. Il est donc possible de fournir un transformateur rotatif triphasé optimisé et qui présente un dimensionnement réduit vis-à-vis des transformateurs rotatifs triphasés de l'art antérieur.

[0018] On notera, bien sûr, conformément aux règles de construction d'un transformateur rotatif triphasé, que les première, deuxième et troisième bobines primaires présentent la même résistance et que les première et deuxième sous-bobines primaires et les première et troisième bobines primaires présentent le même nombre de spires.

[0019] Ainsi, avec une telle dimension axiale du logement de chacune des sous-bobines, et donc des sous-bobines primaires elles-mêmes, supérieure à celle des logements des deuxième et troisième bobines primaires, et donc des deuxième et troisième bobines primaires, la dimension radiale de ces mêmes logements de chacun des sous-bobines, et donc des sous-bobines, est inférieure à 2 fois celle des logements des première et troisième bobines primaires, et donc de ces mêmes bobines primaires.

[0020] Les indications ci-dessus concernant le dimensionnement des logements des sous-bobines primaires et des première et troisième bobines primaires sont également valables pour le dimensionnement des logements des sous-bobines secondaires et des première et troisième bobines secondaires.

[0021] Les première et deuxième sous-bobines primaires peuvent être logées chacune dans le premier logement respectif des première et deuxième encoches primaires,
les première et deuxième sous-bobines secondaires étant chacune logée dans le premier logement respectif de la première et deuxième encoche secondaire.

[0022] Une telle configuration permet une fabrication aisée du transformateur rotatif selon l'invention.

[0023] Chacun des premier et deuxième logements de chacune de la première encoche primaire, de la deuxième encoche primaire, de la première encoche secondaire et de la deuxième encoche secondaire peut présenter en outre une dimension axiale,
le logement parmi le premier et le deuxième logement de chacune des première et deuxième encoches primaires logeant une sous-bobine de la deuxième bobine primaire présentant :

- une dimension axiale qui est égale à r^2 fois la dimension axiale de l'autre logement parmi le premier et le deuxième logement, et
- une dimension radiale qui est égale à $2/r^2$ fois la dimension radiale de l'autre logement parmi le premier et le deuxième logement,

r étant un facteur dit d'équilibrage de flux magnétiques

[0024] Une telle configuration permet d'assurer un bon équilibre de courant entre les première, deuxième et troisième bobines du primaire et entre celles du secondaire.

[0025] Le facteur d'équilibre de flux peut être déterminé de manière à équilibrer les courants entre les première, deuxième et troisième bobines primaires et entre les première, deuxième et troisième bobines secondaires.

[0026] Ainsi, l'équilibrage entre les phases est optimisé.

[0027] Un tel équilibrage peut notamment se faire de manière à obtenir une différence de courant entre chacune des phases du primaire et entre chacune des phases du secondaire inférieure à 5%, voire 2% et encore plus avantageusement inférieure ou égale à 1%.

le premier et le deuxième logement de la première et de la deuxième encoche primaire peuvent être aménagés dans une cavité de ladite encoche primaire,
lesdites cavités de la première et de la deuxième encoche primaire présentant chacune une dimension axiale égale à la dimension axiale du logement de ladite encoche primaire parmi ledit premier et ledit deuxième logement qui loge une sous-bobine primaire et comprenant une paroi en matériau ferromagnétique de manière à délimiter axialement l'autre logement parmi ledit premier et ledit deuxième logement,
dans lequel le premier et le deuxième logement de la première et de la deuxième encoche secondaire sont aménagés dans une cavité de ladite encoche,
lesdites cavités de la première et de la deuxième encoche secondaire présentant chacune une dimension axiale égale à celle du logement parmi ledit premier et ledit deuxième logement qui loge une sous-bobine secondaire et comprenant une paroi en matériau ferromagnétique de manière à délimiter axialement l'autre logement parmi ledit premier et ledit deuxième logement.

[0028] Selon une demie vue en section axiale, le corps primaire peut présenter :

- une partie centrale dimensionnée axialement pour aménager entièrement les logements de la première et de la deuxième encoche primaire qui ne logent pas de sous-bobine primaire, les logements de la

première et de la deuxième encoche primaire qui logent une sous-bobine primaire étant aménagés partiellement dans ladite partie centrale,

- un premier et un deuxième épaulement axial s'étendant axialement et respectivement de part et d'autre de la partie centrale et dimensionnés pour aménager une partie de chaque logement de la première et de la deuxième encoche primaire qui n'est pas aménagée dans la partie centrale,

selon une demie vue en section axiale, le corps secondaire présentant :

- une partie centrale dimensionnée axialement pour aménager entièrement les logements de la première et de la deuxième encoche secondaire qui ne logent pas de sous-bobine secondaire, les logements de la première et de la deuxième encoche secondaire qui logent une sous-bobine secondaire étant aménagés partiellement dans ladite partie centrale,
- un premier et un deuxième épaulement axial s'étendant axialement et respectivement de part et d'autre de la partie centrale et dimensionnés pour aménager une partie de chaque logement de la première et de la deuxième encoche secondaire qui n'est pas aménagée dans la partie centrale.

[0029] Avec une telle configuration, il est possible d'optimiser les dimensions des corps primaire et secondaire et donc du transformateur.

[0030] L'invention concerne en outre une machine tournante comprenant un stator, un rotor et un transformateur selon l'invention et le corps primaire étant compris dans l'un parmi le stator et le rotor, le corps secondaire étant compris dans l'autre parmi le stator et le rotor.

[0031] Une telle machine tournante bénéficie des avantages liés au transformateur selon l'invention qui l'équipe.

[0032] La machine tournante peut être une turbomachine.

[0033] Le corps primaire peut être compris dans le stator, le corps secondaire étant compris dans le rotor,
et les première, deuxième et troisième bobines secondaires alimentant un circuit de dégivrage de pales d'au moins l'une d'une manche d'entrée et d'une tuyère de sortie de la turbomachine.

[0034] Une telle turbomachine, notamment dans cette application au circuit de dégivrage des pales, bénéficie particulièrement de l'amélioration dans l'équilibrage des courants des phases du secondaire, et de ceux des phases du primaire, tout en conservant les dimensions contenues de l'art antérieur.

Brève description des dessins

[0035] La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation, donnés à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

la figure 1 illustre en vue en coupe schématique un transformateur rotatif triphasé de l'art antérieur,
la figure 2 illustre en vue en coupe schématique un transformateur rotatif triphasé selon une proposition des inventeurs non comprise dans le cadre de l'invention,
la figure 3 illustre l'association des bobines primaires et secondaires d'un transformateur rotatif triphasé selon la configuration commune entre la proposition des inventeurs illustrée sur la figure 2 et selon l'invention,
la figure 4 illustre en vue en coupe schématique un transformateur rotatif triphasé selon un premier mode de réalisation de l'invention,
la figure 5 illustre la répartition du flux magnétique pour respectivement un transformateur rotatif triphasé selon la proposition des inventeurs illustrée sur la figure 2 et un transformateur rotatif triphasé selon le premier mode de réalisation de l'invention,
la figure 6 illustre la variation du courant transmis dans chacune des bobines secondaire en fonction d'un facteur dit d'équilibrage de flux magnétique,
la figure 7 illustre en vue en coupe schématique demie-axiale un transformateur rotatif selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
la figure 8 illustre en vue en coupe schématique demie-axiale un transformateur rotatif selon un troisième mode de réalisation de l'invention.

[0036] Des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre. Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

[0037] Les différentes possibilités (variantes et modes de réalisation) doivent être comprises comme n'étant pas exclusives les unes des autres et peuvent se combiner entre elles.

Description des modes de réalisation

[0038] Les figures 3 et 4 illustrent un transformateur rotatif triphasé 202 selon un premier mode de réalisation, la figure 3 illustrant l'association et le bobinage d'une première, deuxième et troisième bobine primaire 211, 212, 213 avec des première, deuxième et troisième bobines secondaires 221, 222, 223 et la figure 4 illustrant la conformation d'un tel transformateur rotatif triphasé 202.

[0039] Un tel transformateur rotatif triphasé 202 équipe généralement une machine tournante 201 telle qu'un moteur ou une turbomachine et permet un transfert d'énergie électrique entre un stator 205 et un rotor 204 montés rotatif l'un par rapport à l'autre autour d'un axe de révo-

lution 203.

[0040] Ainsi, tel que montré sur la figure 4, un transformateur rotatif triphasé 201 comprend :

- la première, la deuxième et la troisième bobine primaire 211, 212, 213, correspondant respectivement, et par exemple, à une première, une deuxième et une troisième phase d'un circuit d'alimentation,
- une première, une deuxième et une troisième bobine secondaire 221, 222, 223 correspondant respectivement aux première, deuxième et troisième bobines primaires 211, 212, 213, lesdites première, deuxième et troisième bobine secondaire 221, 222, 223 correspondant respectivement, et par exemple, à une première, une deuxième et une troisième phase d'un circuit de charge à alimenter en courant,
- un corps primaire 230 en matériau ferromagnétique et de révolution autour d'un axe de révolution 203, et
- un corps secondaire 240 en matériau ferromagnétique et de révolution, le corps secondaire 240 étant concentrique avec le corps primaire 230 de telle manière à ce que l'un parmi le corps primaire 230 et le corps secondaire 240 soit libre en rotation autour de l'autre parmi le corps primaire 230 et le corps secondaire 240 en tournant autour de l'axe de révolution 203.

[0041] On peut noter que dans le présent mode de réalisation, c'est le corps primaire 230 qui est libre en rotation autour du corps secondaire 240, le corps primaire 230 étant compris dans le stator 205 et le corps secondaire 240 étant compris dans le rotor 204.

[0042] Comme illustré sur les figures 3 et 4, la deuxième bobine primaire 212 comprend une première et une deuxième sous-bobine primaire 212A, 212B et la deuxième bobine secondaire 222 comprenant une première et une deuxième sous-bobine secondaire 222A, 222B.

[0043] Le corps primaire 230 comporte une première encoche primaire 231 et une deuxième encoche primaire 232 présentant chacune une ouverture débouchant en regard du corps secondaire 240. Le corps secondaire 240 comporte une première encoche secondaire 241 et une deuxième encoche secondaire 242 présentant chacune une ouverture débouchant en regard respectivement de la première encoche primaire 231 et de la deuxième encoche primaire 232.

[0044] Comme montré sur les figures 3 et 4, la première encoche primaire 231 loge la première sous-bobine primaire 212A, et la première bobine primaire 211 tandis que la deuxième encoche primaire loge la deuxième sous-bobine primaire 212B, et la troisième bobine primaire 213.

[0045] D'une manière similaire, la première encoche secondaire 241 loge la première sous-bobine secondaire 222A, et la première bobine secondaire 221 tandis que la deuxième encoche secondaire loge la deuxième sous-bobine secondaire 222B, et la troisième bobine secondaire 223.

[0046] Dans ce premier mode de réalisation, comme illustré sur la figure 4, chacune des première et deuxième encoches primaires 231, 232 et des première et deuxième encoches secondaires 241, 242 présente une forme torique de section rectangulaire.

[0047] Comme montré sur la figure 4 la première et la deuxième encoche primaire 231, 232 comprennent chacune un premier logement 231A, 232A annulaire et un deuxième logement 231B, 232B annulaire se succédant radialement à partir de l'ouverture de ladite encoche primaire 231, 232.

[0048] Dans ce premier mode de réalisation, le premier logement 231A et le deuxième logement 231B de la première encoche primaire 231 logent respectivement la première sous-bobine primaire 212A et la première bobine primaire 211. Le premier logement 232A et le deuxième logement 232B de la deuxième encoche primaire 232 logent respectivement la deuxième sous-bobine primaire 212B et la troisième bobine primaire 213.

[0049] La première et la deuxième encoche secondaire 241, 242 comprennent chacune un premier logement 241A, 242A annulaire et un deuxième logement 241B, 242B annulaire se succédant radialement à partir de l'ouverture de ladite encoche secondaire 241, 242.

[0050] Ainsi, d'une manière identique aux première et deuxième encoches primaires 231, 232, dans ce premier mode de réalisation, le premier logement 241A et le deuxième logement 241B de la première encoche secondaire 241 logent respectivement la première sous-bobine secondaire 222A et la première bobine secondaire 221. Le premier logement 242A et le deuxième logement 242B de la deuxième encoche secondaire 242 logent respectivement la deuxième sous-bobine secondaire 222B et la troisième bobine primaire 223.

[0051] De cette manière, les première, deuxième et troisième bobines primaires 211, 212, 213 et les première, deuxième et troisième bobines secondaires 221, 222, 223 présentent l'association magnétique illustrée sur la figure 3 avec :

- la première sous-bobine primaire 212A et la première bobine primaire 211 couplées magnétiquement avec la première sous-bobine secondaire 222A et la première bobine secondaire 221,
- la deuxième sous-bobine primaire 212B et la troisième bobine primaire 213 couplées magnétiquement avec la deuxième sous-bobine secondaire 222B et la troisième bobine secondaire 223.

[0052] Avec une telle configuration, les flux magnétiques de la première sous-bobine primaire 212A et de la première bobine primaire 211 sont couplés et les flux magnétiques de la deuxième sous-bobine primaire 212B et de la troisième bobine primaire 213 sont couplés. Le couplage magnétique étant ainsi optimisée, il est possible de réduire le dimensionnement et la masse des corps primaire et secondaire 230, 240.

[0053] Comme le montre la figure 3, le sens des en-

roulements de la première sous-bobine primaire 212A et de la première bobine primaire 211 est identique et opposé à celui de la deuxième sous-bobine primaire 212B et de la troisième bobine primaire 213.

[0054] D'une manière identique, comme le montre la figure 3, le sens des enroulements de la première sous-bobine secondaire 222A et de la première bobine secondaire 221 est identique et opposé à celui de la deuxième sous-bobine secondaire 222B et de la troisième bobine secondaire 223.

[0055] Les première, deuxième et troisième bobines primaires 211, 212, 213 devant présenter une résistance sensiblement identique et les première et deuxième sous-bobines 212A, 212B et les première et troisième bobines 211, 213 ayant le même nombre de spires afin d'assurer un rapport de transformation identique pour chacune des phases, le dimensionnement des première et deuxième sous-bobines primaires 212A, 212B est adapté de manière à ce que la section du conducteur formant les spires des première et deuxième sous-bobines primaires 212A, 212B présente une surface doublée vis à de celle de la section du conducteur formant les spires des première et troisième bobines primaires 211, 213.

[0056] D'une manière similaire, le dimensionnement des première et deuxième sous-bobines secondaires 222A, 222B est adapté de manière à ce que la section du conducteur formant les spires des première et deuxième sous-bobines secondaires 222A, 222B présente une surface doublée vis à de celle de la section du conducteur formant les spires des première et troisième bobines primaires 221, 223.

[0057] Comme montré sur la figure 4, chacun des premier et deuxième logements 231A, 231B, 232A, 232B, 241A, 241B, 242A, 242B de la première et deuxième encoche primaire 231, 232 et de la première et de la deuxième encoche secondaire 241, 242 présente une section demie-axiale rectangulaire en présentant une longueur axiale L_A, L_B, formant une dimension axiale dudit logement, et une hauteur radiale h_A, h_B formant une dimension radiale dudit logement.

[0058] Selon le principe de l'invention et dans le cadre de ce premier mode de réalisation, pour la première encoche primaire 231 et la deuxième encoche primaire 232, le premier logement 231A, 232A présente une dimension axiale L_A, c'est-à-dire la longueur axiale supérieure à cette même dimension, c'est dire la longueur axiale, du deuxième logement 231B, 232B de la première et la deuxième encoche primaire 231, 232.

[0059] D'une manière identique, dans le cadre de ce premier mode de réalisation, pour la première encoche secondaire 241 et la deuxième encoche secondaire 242, le premier logement 241A, 242A présente une dimension axiale L_A, c'est-à-dire la longueur axiale supérieure à cette même dimension, c'est dire longueur axiale, du deuxième logement 241B, 242B de la première et la deuxième encoche secondaire 241, 242.

[0060] Avec une telle différence de dimensionnement axiale entre les premier et deuxième logements 231A, 231B, 232A, 232B, 241A, 241B, 242A, 242B, et donc entre les sous-bobines 212A, 212B, 222A, 222B et les bobines 211, 213, 221, 223 qui y sont logées, permet de réduire les flux magnétiques de fuites des sous-bobines 212A, 212B, 222A, 222B vis-à-vis d'une sous-bobine 112A, 112B, 122A, 122B qui, conformément à la divulgation du document WO 2013/167828, seraient logée dans un logement présentant une dimension axiale identique à celle de la première ou de la troisième bobine 111, 113correspondante. Il est donc possible, conformément à l'invention, d'équilibrer les flux magnétiques de fuite des première et deuxième sous-bobines primaires 212A, 212B avec les flux de fuite des première et troisième bobines primaires 211, 213 et d'équilibrer les flux de fuite des première et deuxième sous-bobines secondaires 222A, 222B avec les flux de fuite des première et troisième bobines secondaires 221, 223.

[0061] C'est cet avantage qui est illustré sur la figure 5, qui montre, sous la forme de deux demie-coupes axiales, les lignes de flux magnétiques 301, 302, 303, 304 calculées par les inventeurs selon un calcul par éléments finis pour respectivement un transformateur rotatif triphasé 102 selon le document WO 2013/197828 illustrée sur la figure 2, montré sur le haut de la figure 5, les flux magnétiques principaux étant référencés 301 et les flux magnétique de fuite étant référencés 302, et un transformateur rotatif triphasé 202 selon le premier mode de réalisation de l'invention illustré sur la figure 4, montré sur le bas de la figure 5, les flux magnétiques principaux étant référencés 303 et les flux magnétique de fuite étant référencés 304.

[0062] La figure 5 permet ainsi de montrer l'évolution des flux de fuite entre la configuration de l'art antérieur, correspondant à celle du document WO 2013/197828, montrée sur la partie haute et la configuration de l'invention montrée sur la partie basse.

[0063] Il peut être constaté que dans le cadre de la configuration de l'art antérieur, les lignes de flux de fuite 302 des bobines 111A et 121A sont majoritaires vis-à-vis des lignes de flux de fuite 301 des bobines 112 et 122 respectivement. Sur la configuration de l'invention, nous constatons que les lignes de flux de fuite 303 des bobines 211A et 221A sont réduites vis-à-vis des bobines 212 et 222 En ce qui concerne le dimensionnement des premier et deuxième logements dans la configuration illustrée sur la figure 4, les dimensions axiales et radiales L_A, h_A des premiers logements 231A, 241A et les dimensions axiales et radiales L_B, h_B des deuxièmes logements 231B, 241B respectent les équations suivantes :

$$(1) \qquad L_A \times h_A = 2L_B \times h_B$$

$$(2) \qquad L_A > L_B$$

[0064] Avec L_A et h_A les dimensions axiales et radiale

du premier logement 231A, 232A, 241A, 242A d'une encoche 231, 232, 241, 242 et L_B et h_B les dimension axiales et radiales du deuxième logement 231B, 232B, 241B, 242B de cette même encoche 231, 232, 241, 242.

[0065] On notera que, selon une possibilité de l'invention, il est possible de respecter les équations ci-dessus en définissant un facteur dit d'équilibrage de flux magnétique r strictement supérieur à 1 est en respectant les conditions suivantes pour les premiers logements 231A, 232A, 241A, 242A, de chacune des encoches 231, 232, 241, 242 : - une dimension axiale La qui est égale à r^2 fois la dimension axiale L_B du deuxième logement 231B, 232B, 241B, 242B de ladite encoche 231, 232, 241, 242, et - une dimension radiale h_A qui est égale à $2/r^2$ fois la dimension radiale h_B du deuxième logement 231B, 232B, 241B, 242B de ladite encoche 231, 232, 241, 242.

[0066] Afin d'illustrer l'avantage d'un tel dimensionnement des logements 231A, 231B, 232A, 232B, 241A, 241B, 242A, 242B et donc des sous-bobines 212A, 212B, 222A, 222B et bobines 211, 213, 221, 223 qui y sont logées, les inventeurs ont simulés la variation de l'intensité 311, 312, 313 du courant circulant dans chacune des phases primaires pour un transformateur selon l'invention en fonction du facteur d'équilibrage de flux magnétique. Ainsi, la courbe 311, correspond à la phase primaire associée à la première bobine primaire 211, les courbes 312 et 313 correspondant respectivement aux phases primaires associées à respectivement la deuxième et la troisième bobine primaire 212, 213.

[0067] Dans ce graphique illustré sur la figure 6, la valeur du facteur d'équilibrage de flux a été variée à partir de 5 jusqu'à l'obtention d'un bon équilibrage entre les phases qui a été obtenue à 7,5. On peut voir que pour la valeur du facteur d'équilibrage de flux magnétique r la plus faible, c'est-à-dire égal 5, le courant de la phase primaire associée à la première bobine primaire 211 est de 25,6 A alors que ceux des phases primaires associées à respectivement la deuxième et la troisième bobine primaire 212, 213 sont de respectivement 25,2 A et 25,15 A. Or pour un facteur d'équilibrage de flux magnétique, les courants de chacune des phases primaires sont sensiblement identiques et égaux à 24,58 A.

[0068] Ainsi, dans cet exemple, avec un facteur d'équilibrage de flux magnétique égal à 7,5, il est possible d'avoir un bon équilibrage du courant entre les phases primaires et donc entre les phases secondaires du transformateur rotatif triphasé 202 selon l'invention. Bien entendu, selon le principe de l'invention, ce facteur d'équilibrage est à même de varier en fonction des conditions d'équilibrage recherché et de la configuration du transformateur de ses bobines 211, 212, 213, 221, 222, 223. La figure 7 illustre un transformateur rotatif triphasé 202 selon un deuxième mode de réalisation dans lequel chacune des encoches primaires et secondaires 231, 232, 241, 242 présentent une longueur axiale constante sur toute sa hauteur radiale, les logements 231B, 232B, 241B, 242B de ces encoches 231, 232, 241, 242 correspondant aux première et troisième bobines primaires 211, 213 et secondaires 221, 223 étant délimités au moyen d'une paroi 233 respective en matériau ferromagnétique.

[0069] Ainsi un transformateur rotatif triphasé 202 selon ce deuxième mode de réalisation se différencie d'un transformateur rotatif triphasé 202 selon le premier mode de réalisation de par la forme des encoches primaires 231, 232 et secondaires 241, 242 et du fait que ces dernières comportent une paroi 233 respectivement limitant leur deuxième logement 231B, 232B, 241B, 242B.

[0070] Le premier et le deuxième logement 231A, 231B, 232A, 232B, 241A, 241B, 242A, 242B de la première et de la deuxième encoche primaire 231, 232 et de la première et deuxième encoche secondaire 241, 242 sont aménagés dans une cavité de ladite encoche primaire 231, 232 ou secondaire 241, 242 correspondante.

[0071] Lesdites cavités de la première et de la deuxième encoche primaire 231, 232 et de la première et de la deuxième encoche secondaire 241, 242 présentent chacune une dimension axiale La, c'est-à-dire une longueur axiale, égale à la dimension axial L_A, c'est-à-dire une longueur axiale, du premier logement 231A, 232A, 241A, 242A de ladite encoche primaire 231, 232 ou secondaire 241, 242. Chacune des encoches primaires et secondaire 231, 232, 241, 242 comprend ainsi en outre la paroi 233 en matériau ferromagnétique de manière à délimiter axialement le deuxième logement 231B, 232B, 241B, 242B.

[0072] La figure 8 illustre un transformateur rotatif triphasé 202 selon un troisième mode de réalisation dans lequel le corps primaire 230 et le corps secondaire 240 comporte chacun une partie centrale 234, 244 dimensionnée pour loger entièrement les deuxièmes logements 231B, 232B, 241B, 242B de chacune des première et deuxième encoches 231, 232, 241, 242 correspondantes et partiellement le premier logement 231A, 232A, 241A, 242A de chacune desdites encoches 231, 232, 241, 242, et deux épaulements radiaux 235, 245 s'étendant axialement de part et d'autre du corps centrale 234, 244 et dimensionnés pour loger le reste des premiers logements 231A, 232A, 241A, 242A qui n'est pas aménagé dans la partie centrale 234, 244.

[0073] Un transformateur rotatif triphasé 202 selon ce troisième mode de réalisation se différencie d'un transformateur rotatif triphasé 202 selon le premier mode de réalisation en ce que le corps primaire 230 et le corps secondaire 240 présentent chacun une partie centrale 234, 244 et deux épaulements axiaux 235, 245.

[0074] Ainsi, selon ce troisième mode de réalisation, le corps primaire 230 présente :

- une partie centrale 234 dimensionnée axialement pour aménager entièrement les deuxièmes logements 231B, 232B de la première et de la deuxième encoche primaire 231, 232, les premiers logements 231A, 232A de la première et de la deuxième encoche primaire 231, 232 étant aménagés partiellement

dans ladite partie centrale 234,

- un premier et un deuxième épaulement 235 axiaux s'étendant axialement et respectivement de part et d'autre de la partie centrale 234 et dimensionnés pour aménager une partie d'un premier logement 231A, 232A correspondant de la première et de la deuxième encoche primaire 231, 232 qui n'est pas aménagée dans la partie centrale 234.

[0075] D'une manière identique, le corps secondaire 240 présente :

- une partie centrale 244 dimensionnée axialement pour aménager entièrement les deuxièmes logements 241B, 242B de la première et de la deuxième encoche secondaire 241, 242, les premiers logements 241A, 242A de la première et de la deuxième encoche secondaire 241, 242 étant aménagés partiellement dans ladite partie centrale 244,
- un premier et un deuxième épaulement 245 axiaux s'étendant axialement et respectivement de part et d'autre de la partie centrale 244 et dimensionnés pour aménager une partie d'un premier logement 241A, 242A correspondant de la première et de la deuxième encoche secondaire 241, 242 qui n'est pas aménagée dans la partie centrale 244.

[0076] Bien entendu, si dans chacun des modes de réalisation décrits ci-dessus, le premier logement 231A, 232A, 241A, 242A de chaque encoche 231, 232, 241, 242 est un logement qui loge une sous-bobine 212A, 212B, 222A, 222B de la deuxième bobine 212, 222 correspondante, le deuxième logement 231B, 232B, 241B, 242B étant un logement qui loge une bobine 211, 213, 221, 223 correspondante, il est également envisageable, dans le cadre de l'invention, que le rôle des premier et deuxième logements 231A, 231B, 232A, 232B, 241A, 241B, 242A, 242B soit inversé. Ainsi, selon une telle possibilité, pour chaque encoche 231, 232, 241, 242, le premier logement 231A, 232A, 241A, 242A loge une bobine parmi les première et troisième bobines 211, 213, 221, 223 correspondantes et le deuxième logement 231B, 232B, 241B, 242B loge une sous-bobine 212A, 212B, 222A, 222B de la deuxième bobine 212, 222 correspondante.

[0077] Selon une possibilité d'application de l'invention, la machine tournante 201 peut être une turbomachine, les première, deuxième et troisième bobines primaires étant reliées respectivement à une première, deuxième et troisième phase d'un circuit d'alimentation triphasé de la turbomachine comportant un alternateur de ladite turbomachine, les première, deuxième et troisièmes bobines secondaires étant reliées respectivement à une première, une deuxième et une troisième phase d'un circuit de charge de la turbomachine, tel qu'un circuit de dégivrage de pales, telles que des pales du manche à air de la turbomachine.

Revendications

1. Transformateur rotatif triphasé (202) comprenant :

- au moins une première, une deuxième et une troisième bobine primaire (211, 212, 213),
- une première, une deuxième et une troisième bobine secondaire (221, 222, 223) correspondant respectivement aux première, deuxième et troisième bobines primaires (211, 212, 213),
- un corps primaire (230) en matériau ferromagnétique et de révolution autour d'un axe de révolution (203), et
- un corps secondaire (240) en matériau ferromagnétique et de révolution, le corps secondaire (240) étant concentrique avec le corps primaire (230) de telle manière à ce que l'un parmi le corps primaire (230) et le corps secondaire (240) soit libre en rotation autour de l'autre parmi le corps primaire (230) et le corps secondaire (240) en tournant autour de l'axe de révolution (203),

la deuxième bobine primaire (212) comprenant au moins une première et une deuxième sous-bobine primaire (212A, 212B) et la deuxième bobine secondaire (222) comprenant au moins une première et un deuxième sous-bobine secondaire (222A, 222B),

dans lequel le corps primaire (230) comporte une première encoche primaire (231) et une deuxième encoche primaire (232) présentant chacune une ouverture débouchant en regard du corps secondaire (240) et le corps secondaire (240) comporte une première encoche secondaire (241) et une deuxième encoche secondaire (242) présentant chacune une ouverture débouchant en regard respectivement de la première encoche primaire (231) et de la deuxième encoche primaire (232),

dans lequel la première et la deuxième encoche primaire (231, 232) comprennent chacune un premier logement (231A, 232A) annulaire et un deuxième logement (231B, 232B) annulaire se succédant radialement à partir de l'ouverture de ladite encoche primaire (231, 232),

la première et la deuxième encoche secondaire (241, 242) comprenant chacune un premier logement (241A, 242A) annulaire et un deuxième logement (241B, 242B) annulaire se succédant radialement à partir de l'ouverture de ladite encoche secondaire (241, 242),

la première encoche primaire (231) logeant la première sous-bobine primaire (212A) et la première bobine primaire (211), la première sous-bobine (212A) étant agencée dans l'un parmi le premier et le deuxième logement (231A, 231B) de la première encoche primaire (231), la première bobine primaire (211) étant agencée dans

l'autre parmi le premier et le deuxième logement (231A, 231B) de la première encoche primaire (231),
la deuxième encoche primaire (232) logeant la deuxième sous-bobine primaire (212B) et la troisième bobine primaire (213), la deuxième sous-bobine primaire (212B) étant agencée dans l'un parmi le premier et le deuxième logement (232A, 232B) de la deuxième encoche primaire (232), la troisième bobine primaire (213) étant agencée dans l'autre parmi le premier et le deuxième logement (232A, 232B) de la deuxième encoche primaire (232),
la première encoche secondaire (241) logeant la première sous-bobine secondaire (222A) et la première bobine secondaire (221), la première sous-bobine secondaire (222A) étant agencée dans l'un parmi le premier et le deuxième logement (241A, 241B) de la première encoche secondaire (241), la première bobine secondaire (221) étant agencée dans l'autre parmi le premier et le deuxième logement (241A, 241B) de la première encoche secondaire (241),
la deuxième encoche secondaire (242) logeant la deuxième sous-bobine secondaire (222B) et la troisième bobine secondaire (223), la deuxième sous-bobine secondaire (222B) étant agencée dans l'un parmi le premier et le deuxième logement (242A, 242B) de la deuxième encoche secondaire (242), la troisième bobine secondaire (223) étant agencée dans l'autre parmi le premier et le deuxième logement (242A, 242B) de la deuxième encoche secondaire (242),
dans lequel pour la première encoche primaire (231) et la deuxième encoche primaire (232), le logement (231A, 231B, 232A, 232B) parmi le premier et le deuxième logement (231A, 231B, 232A, 232B) qui loge une sous-bobine primaire (212A, 212B) présente une dimension axiale (L_A) supérieure à la dimension axiale (L_B) de l'autre logement parmi le premier et le deuxième logement (231A, 231B, 232A, 232B), et
dans lequel pour la première encoche secondaire (241) et la deuxième encoche secondaire (242), le logement (241A, 241B, 242A, 242B) parmi le premier et le deuxième logement (241A, 241B, 242A, 242B) qui loge une sous-bobine secondaire (222A, 222B) présente une dimension axiale (L_A) supérieure à la dimension axiale (L_B) de l'autre logement (241A, 241B, 242A, 242B) parmi le premier et le deuxième logement(241A, 241B, 242A, 242B).

2. Transformateur rotatif triphasé (202) selon la revendication 1, dans lequel la première et la deuxième sous-bobine primaire (212A, 212B) sont logés chacune dans le premier logement (231A, 232A) respectif de la première et la deuxième encoche primaire (231, 232),
la première et la deuxième sous-bobine secondaire (222A, 222B) étant chacune logée dans le premier logement (241A, 242A) respectif de la première et la deuxième encoche secondaire (241, 242).

3. Transformateur rotatif triphasé (202) selon la revendication 2, dans lequel chacun des premier et deuxième logements (231A, 231B, 232A, 232B, 241A, 241B, 242A, 242B) de chacune de la première encoche primaire (231), de la deuxième encoche primaire (232), de la première encoche secondaire (241) et de la deuxième encoche secondaire (242) présente en outre une dimension axiale (L_A, L_B),
dans lequel le logement (231A, 231B, 232A, 232B) parmi le premier et le deuxième logement (231A, 231B, 232A, 232B) de chacune des première et deuxième encoches primaires (231, 232) logeant une sous-bobine (212A, 212B) de la deuxième bobine primaire (212) présente :

- une dimension axiale (L_A) qui est égale à r^2 fois la dimension axiale (L_B) de l'autre logement (231A, 231B, 232A, 232B) parmi le premier et le deuxième logement (231A, 231B, 232A, 232B), et
- une dimension radiale (ha) qui est égale à $2/r^2$ fois la dimension radiale (h_B) de l'autre logement (231A, 231B, 232A, 232B) parmi le premier et le deuxième logement (231A, 231B, 232A, 232B),

r étant un facteur dit d'équilibrage de flux magnétiques.

4. Transformateur rotatif triphasé selon la revendication 3, dans lequel le facteur d'équilibre de flux est déterminé de manière à équilibrer les courants entre les première, deuxième et troisième bobines primaires (211, 212, 213) et entre les première, deuxième et troisième bobines secondaires (221, 222, 223).

5. Transformateur rotatif (202) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 dans lequel le premier et le deuxième logement (231A, 231B, 232A, 232B) de la première et de la deuxième encoche primaire (231, 232) sont aménagés dans une cavité de ladite encoche primaire (231, 232),

lesdites cavités de la première et de la deuxième encoche primaire (231, 232) présentant chacune une dimension axiale (L_A) égale à la dimension axial (L_A) du logement (231A, 231B, 232A, 232B) de ladite encoche primaire (231, 232) parmi ledit premier et ledit deuxième logement (231A, 231B, 232A, 232B) qui loge une sous-bobine primaire (212A, 212B) et comprenant une paroi (233) en matériau ferromagnétique de

manière à délimiter axialement l'autre logement (231A, 231B, 232A, 232B) parmi ledit premier et ledit deuxième logement (231A, 231B, 232A, 232B),
dans lequel le premier et le deuxième logement (241A, 241B, 242A, 242B) de la première et de la deuxième encoche secondaire (241, 242) sont aménagés dans une cavité de ladite encoche (241, 242),
lesdites cavités de la première et de la deuxième encoche secondaire (241, 242) présentant chacune une dimension axiale égale à celle du logement (241, 242) parmi ledit premier et ledit deuxième logement (241A, 241B, 242A, 242B) qui loge une sous-bobine secondaire (222A, 222B) et comprenant une paroi en matériau ferromagnétique de manière à délimiter axialement l'autre logement (241A, 241B, 242A, 242B) parmi ledit premier et ledit deuxième logement (241, 242).

6. Transformateur rotatif triphasé (202) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 dans lequel, selon une demie vue en section axiale, le corps primaire (230) présente :

- une partie centrale (234) dimensionnée axialement pour aménager entièrement les logements (231B, 232B) de la première et de la deuxième encoche primaire (231, 232) qui ne logent pas de sous-bobine primaire (212A, 212B), les logements (231A, 232A) de la première et de la deuxième encoche primaire (231, 232) qui logent une sous-bobine primaire (212A, 212B) étant aménagés partiellement dans ladite partie centrale (234),
- un premier et un deuxième épaulement (235) axial s'étendant axialement et respectivement de part et d'autre de la partie centrale (234) et dimensionnés pour aménager une partie de chaque logement (231A, 232A) de la première et de la deuxième encoche primaire (231, 232) qui n'est pas aménagée dans la partie centrale (234),

et dans lequel selon une demie vue en section axiale, le corps secondaire (240) présente :
- une partie centrale (244) dimensionnée axialement pour aménager entièrement les logements (241B, 242B) de la première et de la deuxième encoche secondaire (241, 242) qui ne logent pas de sous-bobine secondaire (222A, 222B), les logements (241A, 242A) de la première et de la deuxième encoche secondaire (241, 242) qui logent une sous-bobine secondaire (222A, 222B) étant aménagés partiellement dans ladite partie centrale (244),
- un premier et un deuxième épaulement (245) axial s'étendant axialement et respectivement de part et d'autre de la partie centrale (244) et dimensionnés pour aménager une partie de chaque logement (241A, 242A) de la première et de la deuxième encoche secondaire (241, 242) qui n'est pas aménagée dans la partie centrale (244).

7. Machine tournante (201) comprenant un stator, un rotor et un transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 et dans lequel le corps primaire (230) est compris dans l'un parmi le stator et le rotor, le corps secondaire étant compris dans l'autre parmi le stator et le rotor.

8. Machine tournante (201) selon la revendication 7 qui est une turbomachine.

9. Machine tournante (201) selon la revendication 8, dans lequel le corps primaire (230) est compris dans le stator, le corps secondaire (240) étant compris dans le rotor,
et dans lequel les première, deuxième et troisième bobines secondaires (221, 222, 223) alimentent un circuit de dégivrage de pales de ladite turbomachine.

Patentansprüche

1. Dreiphasen-Drehtransformator (202), umfassend:

- mindestens eine erste, eine zweite und eine dritte primäre Spule (211, 212, 213),
- eine erste, eine zweite und eine dritte sekundäre Spule (221, 222, 223), die jeweils der ersten, der zweiten und der dritten primären Spule (211, 212, 213) entsprechen,
- einen primären Körper (230) aus ferromagnetischem Material, der um eine Rotationsachse (203) drehbar ist, und
- einen sekundären Körper (240) aus ferromagnetischem Material, der drehbar ist, wobei der sekundäre Körper (240) mit dem primären Körper (230) derart konzentrisch ist, dass entweder der primäre Körper (230) oder der sekundäre Körper (240) sich frei um den anderen aus dem primären Körper (230) und dem sekundären Körper (240) beim Drehen um Rotationsachse (203) drehen kann,

bei dem die zweite primäre Spule (212) mindestens eine erste und eine zweite primäre Teilspule (212A, 212B) umfasst und die zweite sekundäre Spule (222) mindestens eine erste und eine zweite sekundäre Teilspule (222A, 222B) umfasst,
bei dem der primäre Körper (230) eine erste primäre Aussparung (231) und eine zweite primäre Aussparung (232) enthält, die jeweils eine Öffnung aufweisen, die dem sekundären Körper

(240) zugewandt mündet, und der sekundäre Körper (240) eine erste sekundäre Aussparung (241) und eine zweite sekundäre Aussparung (242) enthält, die jeweils eine Öffnung aufweisen, die der ersten primären Aussparung (231) bzw. der zweiten primären Aussparung (232) zugewandt mündet,

bei dem die erste und die zweite primäre Aussparung (231, 232) jeweils ein erstes ringförmiges Gehäuse (231A, 232A) und ein zweites ringförmiges Gehäuse (231B, 232B) umfassen, die radial von der Öffnung der primären Aussparung (231, 232) aufeinander folgen,

die erste und die zweite sekundäre Aussparung (241, 242) jeweils ein erstes ringförmiges Gehäuse (241A, 242A) und ein zweites ringförmiges Gehäuse (241B, 242B) umfassen, die radial von der Öffnung der sekundären Aussparung (241, 242) aufeinander folgen,

die erste primäre Aussparung (231) die erste primäre Teilspule (212A) und die erste primäre Spule (211) aufnimmt, wobei die erste Teilspule (212A) in einem aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (231A, 231B) der ersten primären Aussparung (231) angeordnet ist, wobei die erste primäre Spule (211) in dem anderen aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (231A, 231B) der ersten primären Aussparung (231) angeordnet ist,

die zweite primäre Aussparung (232) die zweite primäre Teilspule (212B) und die dritte primäre Spule (213) aufnimmt, wobei die zweite primäre Teilspule (212B) in einem aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (232A, 232B) der zweiten primären Aussparung (232) angeordnet ist, wobei die dritte primäre Spule (213) in dem anderen aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (232A, 232B) der zweiten primären Aussparung (232) angeordnet ist,

die erste sekundäre Aussparung (241) die erste sekundäre Teilspule (222A) und die erste sekundäre Spule (221) aufnimmt, wobei die erste sekundäre Teilspule (222A) in einem aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (241A, 241B) der ersten sekundären Aussparung (241) angeordnet ist, wobei die erste sekundäre Spule (221) in dem anderen aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (241A, 241B) der ersten sekundären Aussparung (241) angeordnet ist,

die zweite sekundäre Aussparung (242) die zweite sekundäre Teilspule (222B) und die dritte sekundäre Spule (223) aufnimmt, wobei die zweite sekundäre Teilspule (222B) in einem aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (242A, 242B) der zweiten sekundären Aussparung (242) angeordnet ist, wobei die dritte sekundäre Spule (223) in dem anderen aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (242A, 242B) der zweiten sekundären Aussparung (242) angeordnet ist,

bei dem das Gehäuse (231A, 231B, 232A, 232B) aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (231A, 231B, 232A, 232B), das eine primäre Teilspule (212A, 212B) aufnimmt, für die erste primäre Aussparung (231) und die zweite primäre Aussparung (232) eine axiale Abmessung (L_A) aufweist, die größer ist als die axiale Abmessung (L_B) des anderen Gehäuses aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (231A, 231B, 232A, 232B), und

bei dem das Gehäuse (241A, 241B, 242A, 242B) aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (241A, 241B, 242A, 242B), das eine sekundäre Teilspule (222A, 222B) aufnimmt, für die erste sekundäre Aussparung (241) und die zweite sekundäre Aussparung (242) eine axiale Abmessung (L_A) aufweist, die größer ist als die axiale Abmessung (L_B) des anderen Gehäuses (241A, 241B, 242A, 242B) aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (241A, 241B, 242A, 242B).

2. Dreiphasen-Drehtransformator (202) nach Anspruch 1, bei dem die erste und die zweite primäre Teilspule (212A, 212B) jeweils in dem jeweiligen ersten Gehäuse (231A, 232A) der ersten und der zweiten primären Aussparung (231, 232) aufgenommen sind,

die erste und die zweite sekundäre Teilspule (222A, 222B) jeweils in dem jeweiligen ersten Gehäuse (241A, 242A) der ersten und der zweiten sekundären Aussparung (241, 242) aufgenommen sind.

3. Dreiphasen-Drehtransformator (202) nach Anspruch 2, bei dem jeweils das erste und das zweite Gehäuse (231A, 231B, 232A, 232B, 241A, 241B, 242A, 242B) jeweils der ersten primären Aussparung (231), der zweiten primären Aussparung (232), der ersten sekundären Aussparung (241) und der zweiten sekundären Aussparung (242) ferner eine axiale Abmessung (L_A, L_B) aufweisen,

bei dem das Gehäuse (231A, 231B, 232A, 232B) aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (231A, 231B, 232A, 232B) jeweils der ersten und der zweiten primären Aussparung (231, 232), die eine Teilspule (212A, 212B) der zweiten primären Spule (212) aufnehmen, Folgendes aufweist:

- eine axiale Abmessung (L_A), die gleich dem r^2-Fachen der axialen Abmessung (L_B) des anderen Gehäuses (231A, 231B, 232A, 232B) aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (231A, 231B, 232A, 232B) ist, und
- eine radiale Abmessung (h_A), die gleich

dem $2/r^2$-Fachen der radialen Abmessung (h_B) des anderen Gehäuses (231A, 231B, 232A, 232B) aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (231A, 231B, 232A, 232B) ist,

wobei r ein Ausgleichsfaktor für magnetische Flüsse ist.

4. Dreiphasen-Drehtransformator nach Anspruch 3, bei dem der Flussausgleichsfaktor derart bestimmt ist, dass er die Ströme zwischen der ersten, der zweiten und der dritten primären Spule (211, 212, 213) und zwischen der ersten, der zweiten und der dritten sekundären Spulen (221, 222, 223) ausgleicht.

5. Dreiphasen-Drehtransformator (202) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem das erste und das zweite Gehäuse (231A, 231B, 232A, 232B) der ersten und der zweiten primären Aussparung (231, 232) in einem Hohlraum der primären Aussparung (231, 232) angeordnet sind,

wobei die Hohlräume der ersten und der zweiten primären Aussparung (231, 232) jeweils eine axiale Abmessung (L_A) aufweisen, die gleich der axialen Abmessung (L_A) des Gehäuses (231A, 231B, 232A, 232B) der primären Aussparung (231, 232) aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (231A, 231B, 232A, 232B) ist, das eine primäre Teilspule (212A, 212B) aufnimmt und eine Wand (233) aus ferromagnetischem Material umfasst, um das andere Gehäuse (231A, 231B, 232A, 232B) aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (231A, 231B, 232A, 232B) axial zu begrenzen,
bei dem das erste und das zweite Gehäuse (241A, 241B, 242A, 242B) der ersten und der zweiten sekundären Aussparung (241, 242) in einen Hohlraum der Aussparung (241, 242) angeordnet sind,
wobei die Hohlräume der ersten und der zweiten sekundären Aussparung (241, 242) jeweils eine axiale Abmessung aufweisen, die gleich der des Gehäuses (241, 242) aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (241A, 241B, 242A, 242B) ist, das eine sekundäre Teilspule (222A, 222B) und eine Wand aus ferromagnetischem Material umfasst, um das andere Gehäuse (241A, 241B, 242A, 242B) aus dem ersten und dem zweiten Gehäuse (241, 242) axial zu begrenzen.

6. Dreiphasen-Drehtransformator (202) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der primäre Körper (230), in einer Halbansicht im Axialschnitt dargestellt, Folgendes aufweist:

- einen mittleren Teil (234), der so bemessen ist, die Gehäuse (231B, 232B) der ersten und der zweiten primären Aussparung (231, 232), die keine primäre Teilspule (212A, 212B) aufnehmen, vollständig anzuordnen, wobei die Gehäuse (231A, 232A) der ersten und der zweiten primären Aussparung (231, 232), die eine primäre Teilspule (212A, 212B) aufnehmen, teilweise in dem mittleren Teil (234) angeordnet ist,
- eine erste und eine zweite axiale Schulter (235), die sich axial und jeweils auf beiden Seiten des mittleren Teils (234) erstrecken und so bemessen sind, einen Teil jedes Gehäuses (231A, 232A) der ersten und der zweiten primären Aussparung (231, 232), das nicht im mittleren Teil (234) angeordnet ist, anzuordnen,
und bei dem der sekundäre Körper (240), in einer Halbansicht im Axialschnitt dargestellt, Folgendes aufweist:

- einen mittleren Teil (244), der so bemessen ist, die Gehäuse (241B, 242B) der ersten und der zweiten sekundären Aussparung (241, 242), die keine sekundäre Teilspule (222A, 222B) aufnehmen, vollständig anzuordnen, wobei die Gehäuse (241A, 242A) der ersten und der zweiten sekundären Aussparung (241, 242), die eine sekundäre Teilspule (222A, 222B) aufnehmen, teilweise in dem mittleren Teil (244) angeordnet ist,
- eine erste und eine zweite axiale Schulter (245), die sich axial und jeweils auf beiden Seiten des mittleren Teils (244) erstrecken und so bemessen sind, einen Teil jedes Gehäuses (241A, 242A) der ersten und der zweiten sekundären Aussparung (241, 242), das nicht im mittleren Teil (244) angeordnet ist, anzuordnen,

7. Rotationsmaschine (201), die einen Stator, einen Rotor und einen Transformator nach einem der Ansprüche 1 bis 6 umfasst und bei der der primäre Körper (230) in einem des Stators und des Rotors enthalten ist, wobei der sekundäre Körper in dem anderen des Stators und des Rotors enthalten ist.

8. Rotationsmaschine (201) nach Anspruch 7, die eine Strömungsmaschine ist.

9. Rotationsmaschine (201) nach Anspruch 8, bei der der primäre Körper (230) in dem Stator enthalten ist, der sekundäre Körper (240) in dem Rotor enthalten ist,
und bei der die erste, die zweite und die dritte sekundäre Spule (221, 222, 223) einen Schaufelenteisungskreislauf der Strömungsmaschine versorgen.

Claims

1. Three-phase rotary transformer (202) comprising:

- at least a first, a second and a third primary coil (211, 212, 213),
- a first, a second and a third secondary coil (221, 222, 223) corresponding respectively to the first, second and third primary coils (211, 212, 213),
- a primary body (230) made from thermomagnetic material and of revolution about a revolution axis (203), and
- a secondary body (240) made from ferromagnetic material and of revolution, the secondary body (240) being concentric with the primary body (230) so that one from the primary body (230) and the secondary body (240) is free to rotate about the other from the primary body (230) and the secondary body (240) by turning about the axis of revolution (203),

the second primary coil (212) comprising at least a first and a second primary subcoil (212A, 212B) and the secondary primary coil (222) comprising at least a first and a second secondary subcoil (222A, 222B),

wherein the primary body (230) includes a first primary recess (231) and a secondary primary recess (232) each having an opening emerging opposite the secondary body (240), and the secondary body (240) includes a first secondary recess (241) and a second secondary recess (242) each having an opening emerging respectively opposite the first primary recess (231) and the secondary primary recess (232),

wherein the first and the second primary recess (231, 232) each comprise a first annular housing (231A, 232A) and a second annular housing (231B, 232B) following each other radially as from the opening of said primary recess (231, 232),

the first and the second secondary recess (241, 242) each comprising a first annular housing (241A, 242A) and a second annular housing (241B, 242B) following each other radially as from the opening of said secondary recess (241, 242),

the first primary recess (231) housing the first primary subcoil (212A) and the first primary coil (211), the first subcoil (212A) being arranged in one from the first and the second housing (231A, 232B) of the first primary recess (231), the first primary coil (211) being arranged in the other one from the first and the second housing (231A, 231B) of the first primary recess (231),

the second primary recess (232) housing the second primary subcoil (212B) and the third primary coil (213), the secondary primary subcoil (212B) being arranged in one from the first and the second housing (232A, 232B) of the second primary recess (232), the third primary coil (213) being arranged in the other from the first and the second housing (232A, 232B) of the second primary recess (232),

the first secondary recess (241) housing the first secondary subcoil (222A) and the first secondary coil (221), the first secondary subcoil (222A) being arranged in one from the first and the second housing (241A, 241B) of the first secondary recess (241), the first secondary coil (221) being arranged in the other one from the first and the second housing (241A, 241B) and the first secondary recess (241),

the second secondary recess (242) housing the second secondary subcoil (222B) and the third secondary coil (223), the second secondary subcoil (222B) being arranged in one from the first and the second housing (242A, 242B) of the second secondary recess (242), the third secondary coil (223) being arranged in the other one from the first and the second housing (242A, 242B) of the second secondary recess (242),

wherein, for the first primary recess (231) and the second primary recess (232), the housing (231A, 231B, 232A, 232B) from the first and the second housing (231A, 231B, 232A, 232B) that houses a primary subcoil (212A, 212B) has an axial dimension (L_A) greater than the axial dimension (L_B) of the other housing from the first and the second housing (231A, 231B, 232A, 232B), and

wherein, for the first secondary recess (241) and the second secondary recess (242), the housing (241A, 241B, 242A, 242B) from the first and the second housing (241A, 241B, 242A, 242B) that houses a secondary subcoil (222A, 222B) has an axial dimension (L_A) greater than the axial dimension (L_B) of the other housing (241A, 241B, 242A, 242B) from the first and the second housing (241A, 241B, 242A, 242B).

2. Three-phase rotary transformer (202) according to claim 1, wherein the first and the second primary subcoil (212A, 212B) are each housed in the first respective housing (231A, 232A) of the first and the second primary recess (231, 232),

the first and the second secondary subcoil (222A, 222B) each being housed in the respective first housing (241A, 242A) of the first and the second secondary recess (241, 242).

3. Three-phase rotary transformer (202) according to claim 2, wherein each of the first and second housings (231A, 231B, 232A, 232B, 241A, 241B, 242A, 242B) of each of the first primary recess (231), the second primary recess (232), the first secondary recess (241) and the second secondary recess (242)

furthermore has an axial dimension (L_A, L_B),

wherein the housing (231A, 231B, 232A, 232B) from the first and the second housing (231A, 231B, 232A, 232B) of each of the first and second primary recesses (231, 232) housing a subcoil (212A, 212B) of the second primary coil (212) has:

- an axial dimension (L_A) that is equal to r^2 times the axial dimension (L_B) of the other housing (231A, 231B, 232A, 232B) from the first and the second housing (231A, 231B, 232A, 232B), and
- a radial dimension (H_A) that is equal to $2/r^2$ times the radial dimension (h_B) of the other housing (231A, 231B, 232A, 232B) from the first and the second housing (231A, 231B, 232A, 232B),

r being a so-called magnetic flux balancing factor.

4. Three-phase rotary transformer according to claim 3, wherein the flux balance factor is determined so as to balance the currents between the first, second and third primary coils (211, 212, 213) and between the first, second and third secondary coils (221, 222, 223).

5. Rotary transformer (202) according to any one of claims 1 to 4, wherein the first and the second housing (231A, 231B, 232A, 232B) of the first and of the second primary recess (231, 232) are arranged in a cavity of said primary recess (231, 232),

said cavities of the first and of the second primary recess (231, 232) each having an axial dimension (L_A) equal to the axial dimension (L_A) of the housing (231A, 231B, 232A, 232B) of said primary recess (231, 232) from said first and said second housing (231A, 231B, 232A, 232B) that houses a primary subcoil (212A, 212B) and comprising a wall (233) made from ferromagnetic material so as to axially delimit the other housing (231A, 231B, 232A, 232B) from said first and said second housing (231A, 231B, 232A, 232B), wherein the first and the second housing (241A, 241B, 242A, 242B) of the first and of the second secondary recess (241, 242) are arranged in a cavity of said recess (241, 242),
said cavities of the first and of the second secondary recess (241, 242) each having an axial dimension equal to that of the housing (241, 242) from said first and said second housing (241A, 241B, 242A, 242B) that houses a secondary subcoil (222A, 222B) and comprising a wall made from ferromagnetic material so as to axially delimit the other housing (241A, 241B, 242A, 242B) from said first and said second housing (241, 242).

6. Three-phase rotary transformer (202) according to any one of claims 1 to 4, wherein, according to a half view in axial section, the primary body (230) has:

- a central part (234) axially sized to completely arrange the housings (231B, 232B) of the first and of the second primary recess (231, 232) that do not house a primary subcoil (212A, 212B), the housings (231A, 232A) of the first and of the second primary recess (231, 232) that house a primary subcoil (212A, 212B) being partially arranged in said central part (234),
- a first and a second axial shoulder (235) extending axially and respectively on either side of the central part (234) and sized for arranging a part of each housing (231A, 232A) of the first and of the second primary recess (231, 232) that is not arranged in the central part (234),

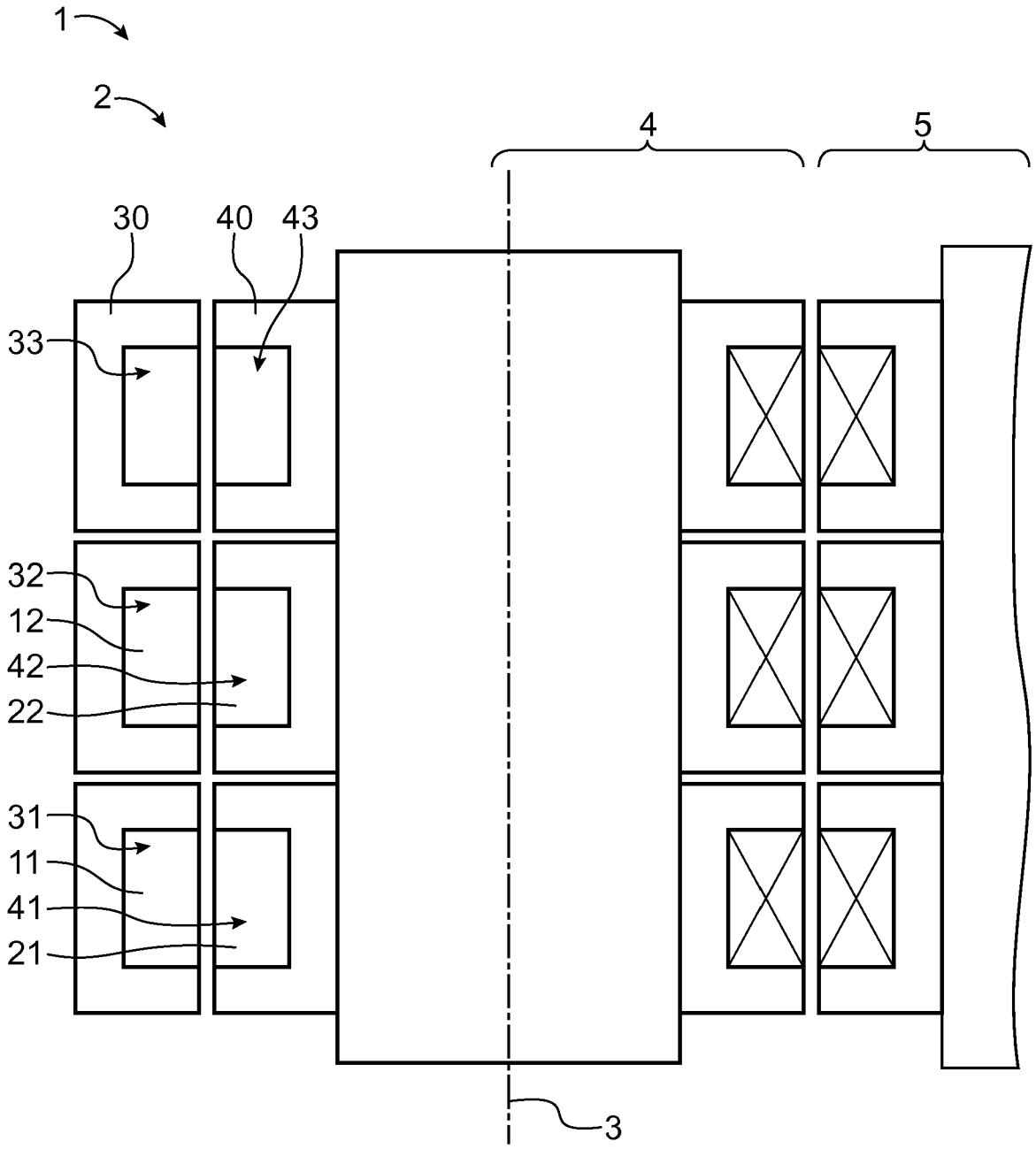
and wherein, in a half view in axial section, the secondary body (240) has:

- a central part (244) axially sized to completely arrange the housings (241B, 242B) of the first and of the second secondary recess (241, 242) that do not house a secondary subcoil (222A, 222B), the housings (241A, 242A) of the first and of the second secondary recess (241, 242) that house a secondary subcoil (222A, 222B) being partially arranged in said central part (244),
- a first and a second axial shoulder (245) extending axially and respectively on either side of the central part (244) and sized for arranging a part of each housing (241A, 242A) of the first and of the second primary recess (241, 242) that is not arranged in the central part (244),

7. Rotary machine (201) comprising a stator, a rotor and a transformer according to any one of claims 1 to 6 and wherein the primary body (230) is included in one from the stator and the rotor, the secondary body being included in the other one from the stator and the rotor.

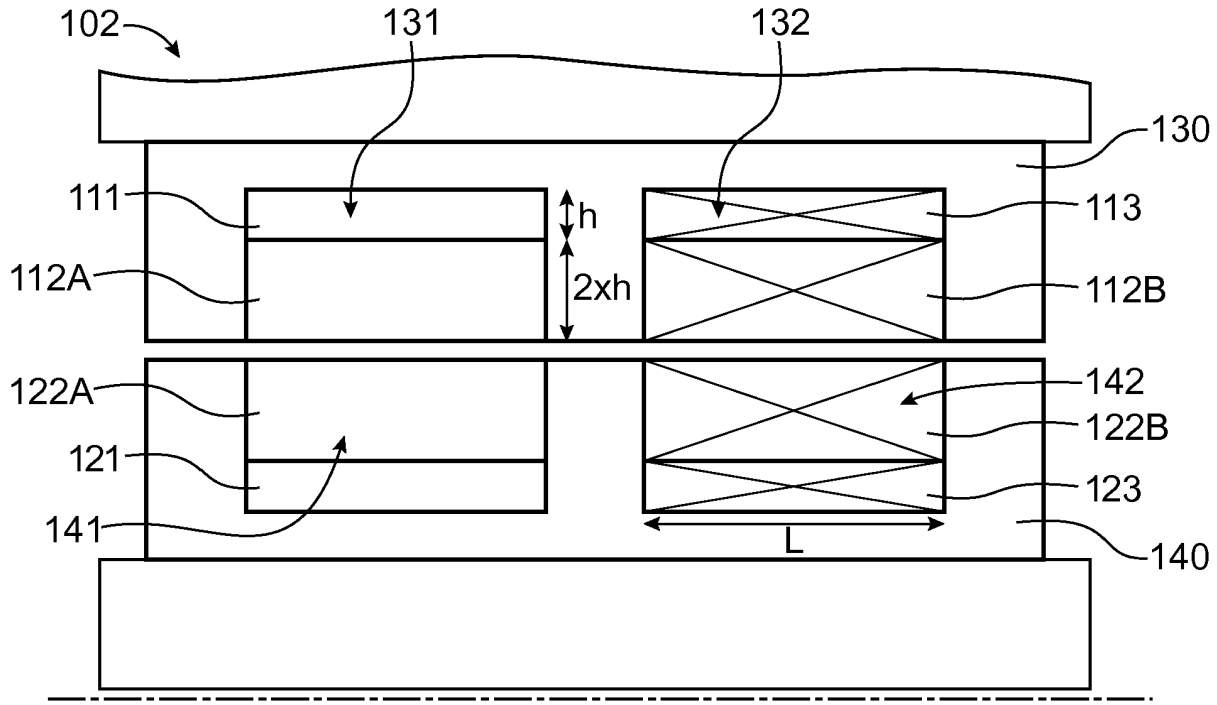
8. Rotary machine (201) according to claim 7 that is a turbomachine.

9. Rotary machine (201) according to claim 8, wherein the primary body (230) is included in the stator, the secondary body (240) being included in the rotor,
and wherein the first, second and third secondary coils (221, 222, 223) supply a vane deicing circuit of said turbine engine.



ART ANTERIEUR

FIG.1



Art Anterieur

FIG.2

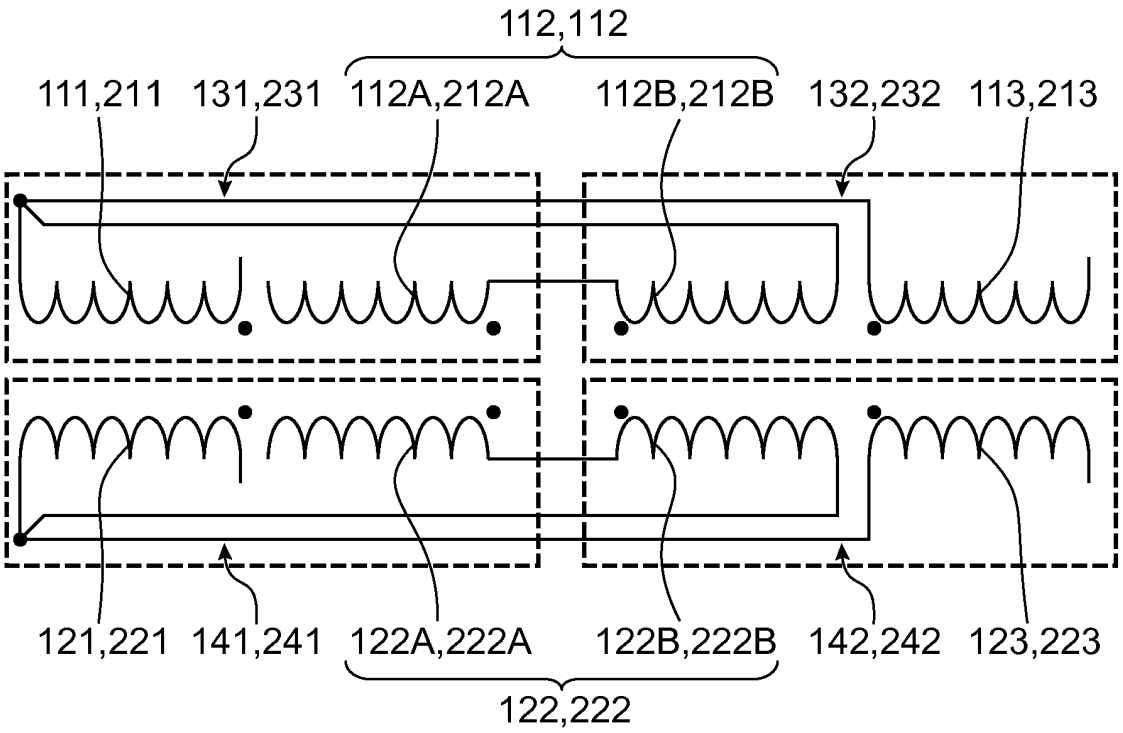


FIG.3

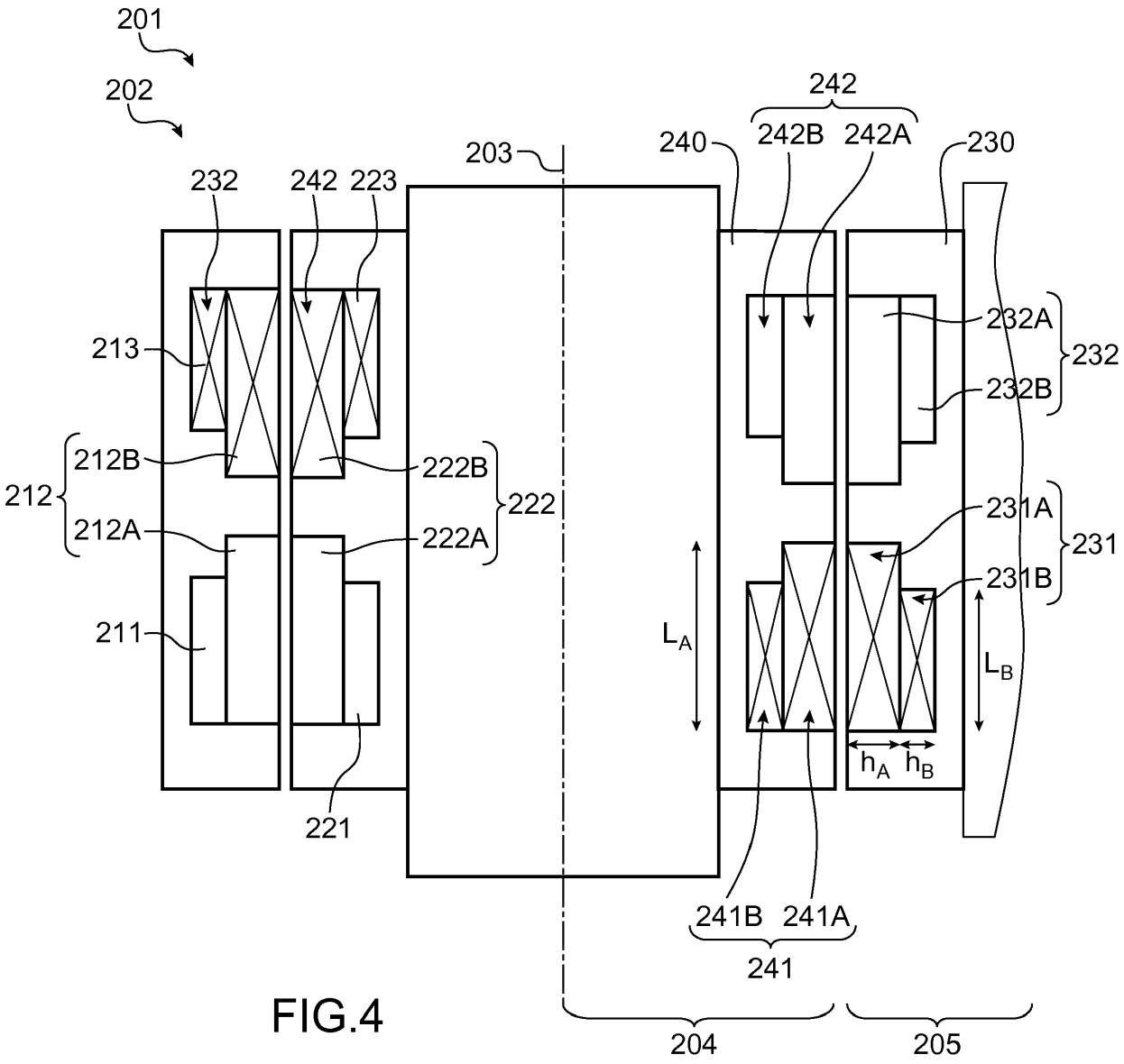

201
202
203
240
242
242B
242A
230
232
242
223
213
232A
232
232B
212B
222B
212
222
212A
222A
231A
231
231B
211
L_A
L_B
h_A
h_B
221
241B
241A
241
204
205

FIG.4

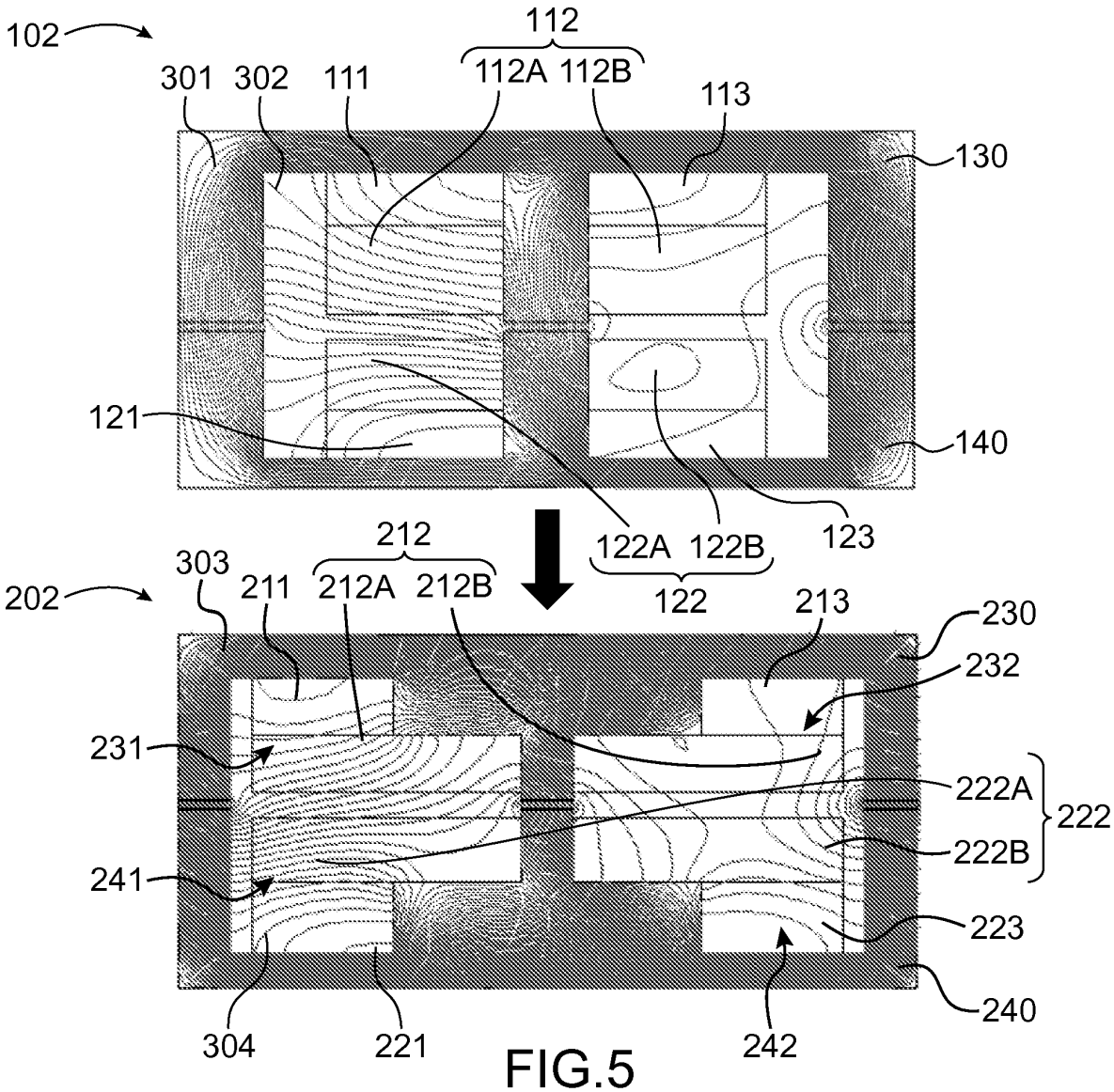

102
112
112A 112B
301 302 111
113
130
121
140
122A 122B
123
212
212A 212B
122
303
211
202
213
230
232
231
222A
222
222B
241
223
240
304
221
242

FIG.5

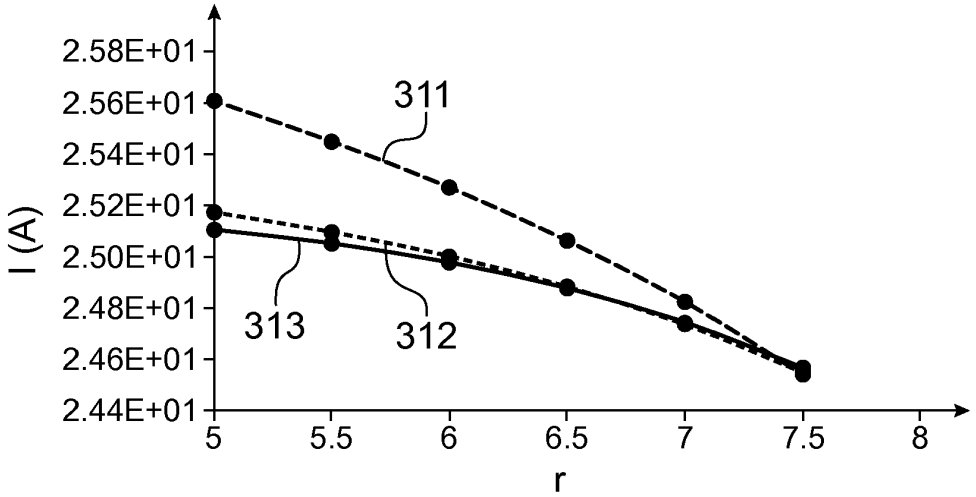

2.58E+01
2.56E+01
2.54E+01
2.52E+01
2.50E+01
2.48E+01
2.46E+01
2.44E+01
I (A)
311
313
312
5
5.5
6
6.5
7
7.5
8
r

FIG.6

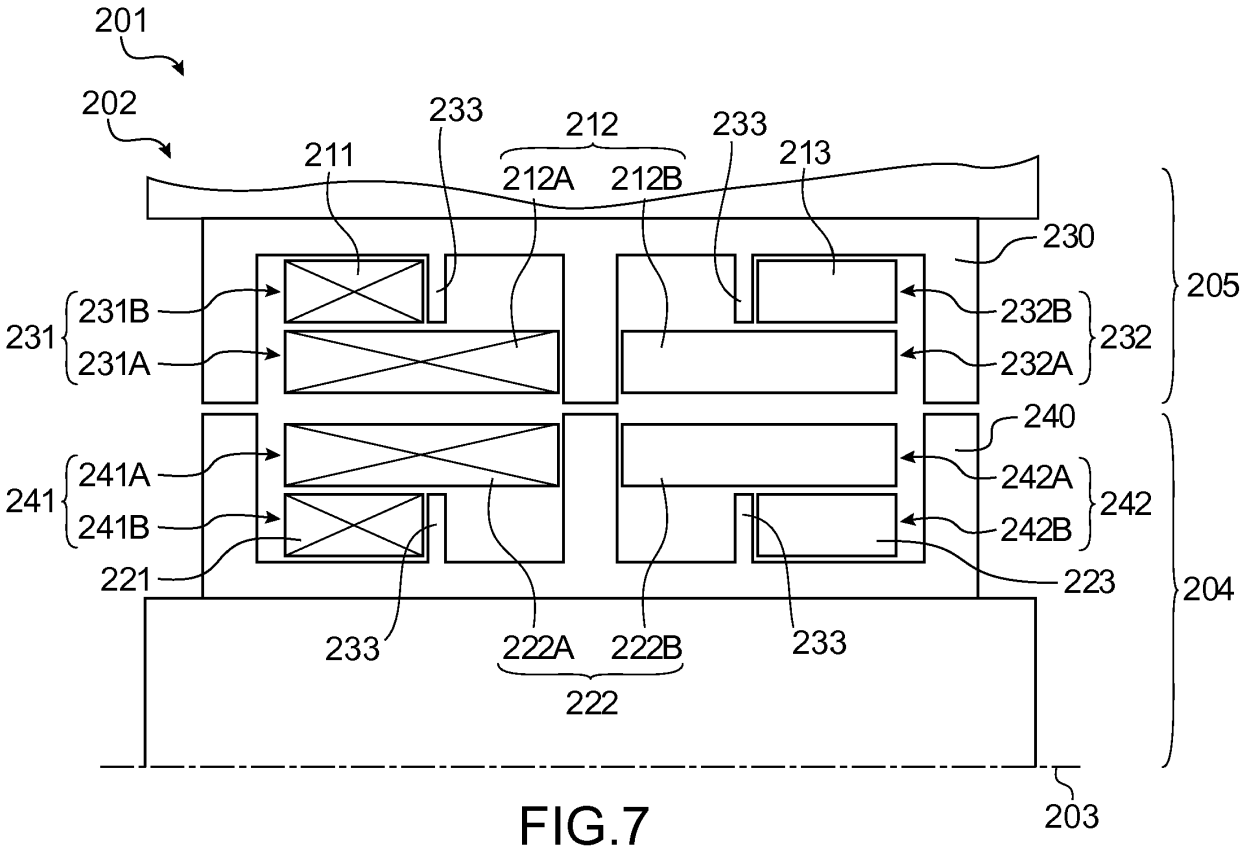

201
202
233
212
233
211
212A
212B
213
230
205
231
231B
231A
232B
232
232A
240
241
241A
241B
242A
242
242B
221
223
204
233
222A
222B
233
222
203

FIG.7

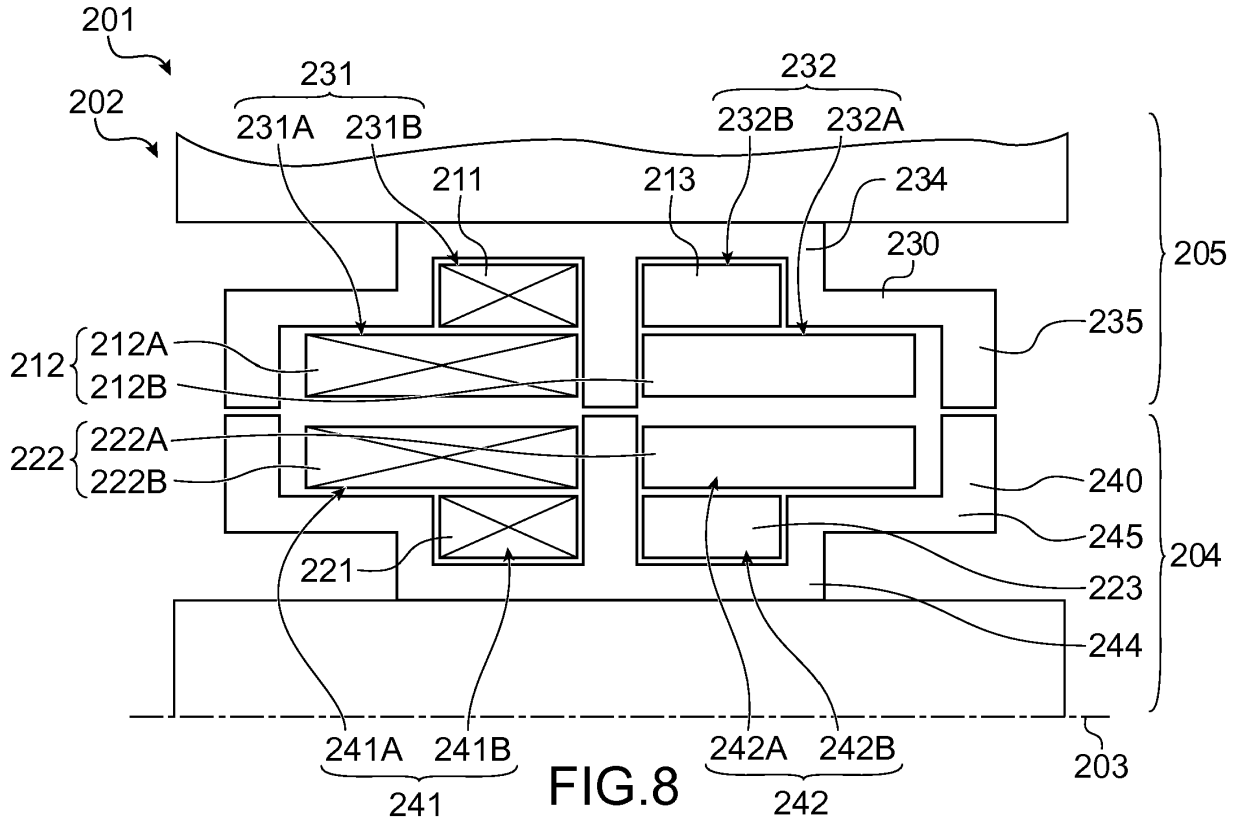

201
231
232
202
231A
231B
232B
232A
211
213
234
230
205
235
212
212A
212B
222
222A
222B
240
245
204
221
223
244
241A
241B
242A
242B
203
241
242

FIG.8

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- WO 2013167827 A **[0007] [0010]**
- WO 2013167829 A **[0009]**
- WO 2013167828 A **[0010] [0014] [0060]**
- WO 2013197828 A **[0061] [0062]**